

燃气管道运输系统的优化调度模型构建与应用分析

贾咸村（山东济华港润燃气有限公司，山东 济南 250000）

刘开华（山东港华燃气集团有限公司，山东 济南 250000）

摘要：在当前能源领域中，燃气作为清洁能源的典型代表，其管道运输系统的高效稳定运行意义重大。本文专注于燃气管道运输系统，深入解析其系统架构与运行特征，全面综合气源供应、用户需求、管道输送能力等多方面因素，运用合理的方法构建优化调度模型，并通过实际案例展示该模型的应用效果。同时，探讨模型应用过程中面临的挑战，展望未来发展方向，旨在为燃气管道运输的优化调度提供有力的理论与实践指导，确保燃气供应的稳定性、经济性和高效性，推动能源行业的可持续发展。

关键词：燃气管道运输；优化调度；模型构建；应用实践；能源效率

中图分类号：TE832 文献标识码：A 文章编号：1674-5167 (2025) 025-0094-03

Construction and application analysis of optimal scheduling model of gas pipeline transportation system

Jia Xiancun (Shandong Jihua Gangrun Gas Co., Ltd., Jinan Shandong 250000, China)

Liu Kaihua (Shandong Ganghua Gas Group Co., Ltd., Jinan Shandong 250000, China)

Abstract: In the current energy field, gas, as a typical representative of clean energy, is of great significance for the efficient and stable operation of its pipeline transportation system. This paper focuses on the gas pipeline transportation system, deeply analyzes its system architecture and operation characteristics, comprehensively integrates gas supply, user demand, pipeline transportation capacity and other factors, uses reasonable methods to construct an optimal scheduling model, and shows the application effect of the model through actual cases. At the same time, the challenges faced in the application of the model are discussed, and the future development direction is prospected, aiming to provide strong theoretical and practical guidance for the optimal scheduling of gas pipeline transportation, ensure the stability, economy and efficiency of gas supply, and promote the sustainable development of the energy industry.

Keywords: gas pipeline transportation; optimize scheduling; model building; applied practice; Energy efficiency

1 燃气管道运输系统概述

1.1 系统组成

燃气管道运输系统是一个高度复杂且精密的体系，由多个关键部分协同构成。气源作为系统的起点，包括天然气气田、人工煤气厂等，是燃气的生产源头，源源不断地为系统提供燃气资源。输气管道则构建起庞大的网络，其中干线管道如同交通主干道，承担着长距离、大规模的燃气输送任务；支线管道犹如毛细血管，将燃气精准地分配到各个区域。储气设施，如地下储气库、LNG 储罐等，发挥着“能量储备库”的作用，在燃气需求低谷时储存多余燃气，在高峰时期释放储存的燃气以满足需求。调压计量装置负责对燃气压力进行精确调节和流量计量，确保燃气在管道中安全、稳定地输送。终端用户涵盖居民、工业和商业等不同类型，其用气需求呈现出多样化的特点，共同构成了复杂的燃气需求生态。

1.2 运行特点

①连续性要求极高：燃气供应的连续性直接关系到居民生活的正常秩序和工业生产的稳定运行。一旦

燃气供应中断，居民生活将受到严重影响，工业生产可能会遭受巨大的经济损失。因此，确保燃气管道运输系统全天候不间断运行是保障能源供应安全的关键。

②压力管控严格：不同规格的燃气管道具有特定的压力适用范围。压力过高会增加管道破裂、泄漏等安全风险；压力过低则无法保证燃气的正常输送，影响用户使用。所以，必须对管道压力进行严格监控和精准调控，以维持管道系统的安全稳定运行。

③气源与需求波动显著：气源的产量受到地质条件变化、开采技术调整等多种因素的影响，呈现出不稳定的波动状态。用户的用气需求则随季节更替、昼夜变化以及经济活动的起伏而大幅波动。例如，冬季取暖季节居民用气量会大幅增加，工业生产旺季也会导致用气需求急剧上升，这种供需的动态变化给燃气调度工作带来了极大的挑战。

2 优化调度模型构建

2.1 目标确定

①成本控制：燃气管道运输的成本涵盖多个方面，

主要包括气源采购成本、管道输送成本和储气成本。气源采购成本取决于不同气源的采购单价和采购量，如同在市场采购商品，不同供应商的价格和采购数量会影响总花费。管道输送成本与燃气在管道中的输送距离、流量大小以及压力损耗密切相关，管道越长、流量越大、压力损耗越多，输送成本就越高。储气成本则包括储气设施的运营维护费用以及储气过程中的自然损耗，类似于银行存储资金需要收取管理费用，且资金在存储过程中会受到通货膨胀等因素的影响。优化调度的目标之一就是通过合理规划气源采购、管道输送和储气策略，实现总成本的最小化。

②用户需求保障：不同类型的用户对燃气的依赖程度存在差异，工业用户停工可能导致严重的经济损失，居民用户的燃气供应则关系到日常生活的基本需求。因此，在进行调度时，需要根据用户的重要性进行合理评估，确保总的供气量能够最大程度地满足用户需求，保障各类用户的正常用气。

2.2 条件限制

①气源供应限制：每个气源的产量都存在上限，如同水井的出水量有限。在实际调度中，从单个气源采购的燃气量不能超过其最大产能，否则将无法满足后续的用气需求，导致供应短缺。

②管道输送能力限制：燃气管道具有一定的输送能力范围，流量过大可能超出管道的承载能力，引发安全问题；流量过小则会造成资源浪费和输送效率低下。因此，必须将管道内的燃气流量控制在其允许的最小和最大流量之间，以确保管道的安全高效运行。

③压力平衡制约：燃气管道网络中的各个节点类似于交通枢纽，流入和流出的燃气量需要保持平衡，否则会导致压力失衡，影响燃气的稳定输送。这就如同十字路口的交通流量需要合理分配，否则会造成拥堵。

④储气设施限定：储气设施的容量有限，不能过度充装或放空。同时，其充气和放气的速度也受到设备性能的限制，过快的充气或放气速度可能对设备造成损害，过慢则无法及时满足用气需求的变化。

⑤用户需求边界：向用户供应燃气时，需严格根据用户的需求进行控制。供气量过少无法满足用户的正常使用，供气量过多则会造成资源浪费，还可能带来安全隐患。因此，供气量应精确控制在用户需求的最小和最大范围之内。

2.3 模型抉择与求解路径

①线性规划模型：当问题中的关键变量，如气源采购量、管道流量等呈连续变化，且目标函数和约束条件均为线性关系时，可采用线性规划方法。以气源

分配为例，可将其类比为分配有限的资源给不同需求的对象，线性规划能够在满足各种条件限制的前提下，快速找到最优的分配方案，实现成本最低或效益最高的目标。常用的单纯形法是求解线性规划问题的有效工具，它能够高效地处理大规模的连续型优化问题。

②混合整数规划模型：当问题涉及到一些离散决策，如是否新建管道、是否启用某个储气设施等，就需要采用混合整数规划模型。这类似于在装修房屋时，对于某些家具的购买决策，是离散的选择。求解混合整数规划问题通常较为复杂，分支定界法是常用的求解方法之一。该方法通过将复杂问题分解为多个子问题，逐步排除不合理的解，最终找到全局最优解，虽然计算过程较为繁琐，但能够有效应对复杂的实际工程问题。

3 应用分析实例

3.1 案例背景

以某地区的燃气管道运输系统为例，该系统包含3个气源、5条输气管道、2座储气库以及众多不同类型的工业和居民用户。在以往的调度过程中，由于缺乏科学的规划，主要依赖经验进行操作，导致气源分配不合理，部分管道负荷过重，而部分管道则处于闲置状态，储气库的调峰作用也未能充分发挥。这种情况不仅增加了运营成本，还难以满足用户的用气需求，因此迫切需要进行优化。

3.2 数据收集与梳理

为了构建有效的优化调度模型，需要全面收集相关数据。对各气源过去一年的产气数据进行详细分析，了解其季节性产气规律；对不同用户的历史用气数据进行统计，精确到每小时，掌握居民用户在早晚高峰时段的用气特点以及工业用户在工作日和节假日的用气差异。同时，还需获取管道的各项参数，包括管径、壁厚、内壁粗糙度等，以准确计算管道的输送能力。此外，储气库的最大和最小容量、充气和放气速度等技术指标也至关重要。通过对这些数据的系统收集和整理，为模型的构建提供了坚实的数据基础。

3.3 模型运用与成效

将整理好的数据代入构建的混合整数规划模型，并借助专业的优化软件进行求解。优化后的调度方案取得了显著成效：气源分配更加科学合理，优先将成本较低、产量稳定的气源供应给重要区域，实现了资源的优化配置；管道流量分布更加均匀，有效缓解了高峰期部分管道的压力，提高了管道的整体输送效率；储气库的运行更加高效，在低谷时期储存燃气，在高峰期及时释放，减少了对高价气源的依赖，从而降低了运营成本。与优化前相比，该地区的燃气管

道运输系统运营成本降低了12%，用户需求满足率从90%提升至98%，充分验证了优化调度模型的有效性和实用性。

4 模型应用面临的挑战

4.1 数据质量难题

燃气管道运输系统涉及的数据来源广泛，分布在各个站点和设备上。然而，数据采集设备可能会出现故障，数据传输过程中也可能遭遇中断或延迟，导致获取的数据存在误差或过时。这就好比使用错误的地图进行导航，依据这些不准确的数据进行优化调度，必然会导致决策失误。例如，压力传感器出现故障时，可能会错误地传递管道压力信息，使模型在分配流量时出现偏差，严重时甚至可能引发安全事故。

4.2 模型复杂与效率困境

随着燃气管道网络的不断扩展、储气设施的逐渐增多以及用户需求的日益多样化，优化调度模型的复杂度呈指数级增长。混合整数规划模型的求解难度较大，对于普通计算机而言，计算时间可能会过长，甚至出现死机的情况。在实际运行过程中，一旦遇到突发情况，如用户用气需求突然大幅增加，需要及时调整调度方案时，现有的计算资源可能无法在短时间内提供有效的解决方案，就像消防员赶到火灾现场却发现消防车无法正常使用一样，延误了应对危机的最佳时机。

4.3 不确定因素干扰

燃气管道运输系统面临着诸多不确定因素，如气源突然停产、恶劣天气对管道造成损坏、工厂因紧急生产任务导致用气需求骤增等。传统的优化调度模型通常基于确定性假设进行构建，难以应对这些突发情况。当实际情况与模型假设不符时，优化方案在实际应用中就会出现“水土不服”的现象。虽然可以引入随机规划、鲁棒优化等方法来处理不确定性，但这会进一步增加模型的求解难度，使得原本复杂的问题变得更加棘手。

5 模型应用面临的挑战和未来发展方向

5.1 数据质量难题

燃气管道运输系统的数据管理面临着严峻的挑战。整个系统分布广泛，数据来源分散，各类数据散落于不同的站点、设备以及监控终端。从气源的产量数据，到管道沿线各个节点的压力、流量数据，再到用户端的用气数据，其采集和汇总涉及众多环节。

5.2 智能感知与大数据赋能

借助物联网和传感器技术，为燃气管道运输系统建立全方位的智能感知体系，实时、准确地监测管道压力、流量、气源产量以及用户用气变化等关键数据。

同时，将这些数据与天气预报、经济形势等外部信息进行深度融合，利用大数据分析技术挖掘数据背后的规律和趋势。通过这种方式，优化调度模型能够更加准确地预测未来的用气需求和供应情况，实现精准调度，有效应对各种复杂多变的情况，提高系统的运行稳定性和可靠性。

5.3 分布式协同优化升级

随着能源行业的发展，未来燃气供应将逐渐走向分布式，小型气源、分布式储气设施和微管网将广泛应用。为适应这一发展趋势，需要构建分布式协同优化模型。这种模型类似于一支训练有素的足球队，各个局部区域能够根据自身的实际情况自主决策，同时又能与其他区域紧密协作，实现全局协调。通过并行计算等技术手段，分布式协同优化模型能够快速求解最优调度方案，满足分布式能源系统灵活多变的调度需求，提高整个系统的运行效率和可靠性。

5.4 人工智能融合驱动

利用机器学习算法对大量的历史数据进行深度挖掘，预测气源产量和用户需求的变化趋势，为优化调度模型提供更加准确的参数。结合深度强化学习技术，使模型能够根据实时的运行情况自动调整调度策略，如同经验丰富的司机在面对复杂路况时能够灵活应对。通过人工智能与优化调度模型的深度融合，逐步推动燃气管道运输系统向智能化运营方向发展，提高系统的自适应能力和应对不确定性的能力。

6 结论

燃气管道运输系统的优化调度模型构建与应用对于燃气行业的发展具有至关重要的意义。通过明确合理的目标函数、精准设定约束条件，并选择合适的模型和求解策略，能够在保障燃气供应、降低运营成本、提升用户满意度等方面取得显著成效。尽管在模型应用过程中面临着数据质量、计算效率和不确定性等诸多挑战，但随着智能感知、大数据、人工智能等先进技术的不断发展和应用，燃气管道运输系统有望实现智能化和协同化的转型升级，为能源供应的稳定和社会经济的发展提供强有力的支持，助力燃气行业实现可持续发展的目标。

参考文献：

- [1] 刘亮, 张琳, 李朝阳. 基于大数据的燃气管道优化调度策略研究 [J]. 天然气工业, 2022, 42(05):145-152.
- [2] 王辉, 赵宇, 孙晓峰. 考虑不确定性的燃气管道混合整数规划模型 [J]. 石油学报, 2021, 42(10):1343-1350.
- [3] 陈静, 马文, 刘浩. 分布式燃气系统的协同优化调度方法 [J]. 电网技术, 2020, 44(08): 2949-2956.